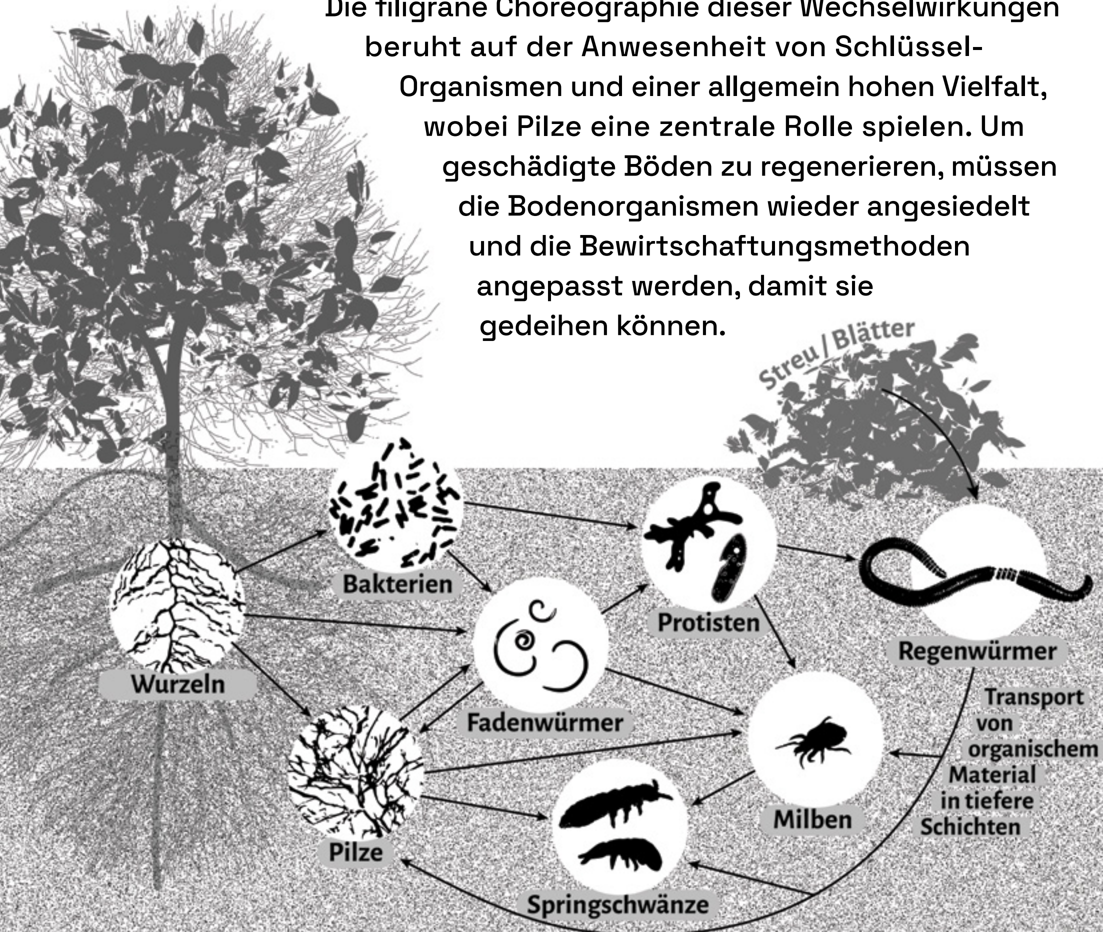
Kurzer Leitfaden zu pilzbasierten Bioreaktoren

1.
Einführung

Unsere Böden bestehen aus einer geografisch einzigartigen Zusammensetzung von organischem und anorganischem Material, Luft, Wasser und komplexen Ökosystemen aus überwiegend mikrobiellen Organismen. Dieses so genannte “Nahrungsnetz des Bodens” erfüllt lebenswichtige Funktionen wie die Wiederverwertung von Nährstoffen und deren Bereitstellung für Pflanzen, die Wasserrückhaltung, die Belüftung und vieles mehr. Die filigrane Choreographie dieser Wechselwirkungen beruht auf der Anwesenheit von Schlüssel-Organismen und einer allgemein hohen Vielfalt, wobei Pilze eine zentrale Rolle spielen. Um geschädigte Böden zu regenerieren, müssen die Bodenorganismen wieder angesiedelt und die Bewirtschaftungsmethoden angepasst werden, damit sie gedeihen können.



Böden sind weltweit durch menschliche Einflüsse bedroht. Die verheerenden Folgen von unangemessener Bewirtschaftung und destruktiven landwirtschaftlichen Praktiken werden durch extreme Wetterereignisse aufgrund des Klimawandels zusätzlich verstärkt. Es ist daher eine der grundlegenden Herausforderungen unserer Zeit, die Funktion unserer Böden wiederherzustellen, regenerative Methoden anzuwenden und aktiv Humus aufzubauen - das Fundament langlebiger Zivilisationen.

Mit diesem Leitfaden präsentieren wir eine Low-Tech-Methode, für die Herstellung eines Boden-Inokulats, das eine extrem hohe Dichte und Vielfalt an Pilzen und Bakterien aufweist und sich für die Bodenregeneration im ländlichen sowie städtischen Bereich eignet. Es gibt zahllose Berichte über wundersame Ertragssteigerungen, gesündere Pflanzen und verbesserten Humusaufbau - besonders auf stark degradierten Böden. Die Forschung zum Thema kommt langsam in Schwung, und eine weltweite Gemeinschaft testet und verbessert das Konzept. Obwohl vielversprechend, gibt es noch nicht genug Ergebnisse, um klare Aussagen über die langfristige Wirkung zu machen. Deshalb möchten wir dich ermutigen, die Methode auszuprobieren, sie an deine örtlichen Gegebenheiten anzupassen und deine Erfahrungen mit uns zu teilen.

2.
Was ist ein pilzbasierter Bioreaktor?

Der Begriff bezeichnet eine spezielle Art von Komposthaufen, der nicht zur Herstellung von Dünger, sondern zur Erzeugung eines besonders pilzreichen Bodenzusatzes dient. In diesem Leitfaden bezeichnen wir das Produkt daher nicht als Kompost, sondern als "Inokulat", um zu verdeutlichen, dass wir damit neues Leben in degradierte Böden einbringen möchten. Um das Grundprinzip dieser Methode zu verstehen, ist es wichtig, ein paar Dinge über Pilze zu wissen. Es gibt drei Haupttypen: saprophytische, parasitäre und Mykorrhizapilze. Für die Herstellung des Inokulats sind nur die saprophytischen Pilze relevant, da ihre Lebensweise auf der Verdauung pflanzlicher Biomasse beruht. Sie benötigen holziges Material als Nahrungsquelle, Dunkelheit, Feuchtigkeit und ausreichend Frischluft. Da Pilze aus langen und verzweigten Zellen (dem sogenannten Myzel) bestehen, können sie nicht gedeihen, wenn ihr Lebensraum umgegraben, verdichtet oder gewendet wird. Unsere Aufgabe als Pfleger besteht darin, ihnen ein Zuhause zu bauen, das genau diese Bedingungen bietet und sie dann mindestens 12-16 Monate lang ungestört zu lassen. Als Belohnung für unsere Bemühungen verwandeln die Pilze minderwertiges Material wie Laub oder Holzhäcksel in ein lebendiges Inokulat, das Milliarden von Pilzsporen enthält.

3.
Konstruktionsprinzipien

Der Bioreaktor ist ein Designkonzept, das viele Formen annehmen kann. Er muss die oben genannten Bedingungen für Pilzwachstum garantieren und gleichzeitig günstig, langlebig und einfach zu bauen sein. Der ideale Ort, ihn aufzustellen bietet ganzjährig viel Schatten und einen Wasseranschluss oder - noch besser - die Möglichkeit, Regenwasser zu sammeln, zu speichern und zu verteilen. In diesem Leitfaden stellen wir zwei bewährte Konstruktionen vor, bei denen Standardmaterialien verwendet werden, die fast überall auf der Welt zu finden sind. Die erste basiert auf Holzpaletten und Metallgittern, während die zweite 1000-Liter-Kunststoffbehälter verwendet (auch IBC-Container genannt).

Beide Ausführungen verfügen über Kanäle zur passiven Belüftung sowie eine Drainage und ein Tropfbewässerungssystem. Für die Belüftungskanäle werden vertikale Stäbe, Rohre* oder andere röhrenförmige Platzhalter mit einem Durchmesser von etwa 10 cm angebracht, bevor das Material in den Bioreaktor gefüllt wird. Wenn sich das Material gesetzt hat (1-2 Tage), werden diese Stäbe/Rohre entfernt, damit die Luft im gesamten Substrat zirkulieren kann. Wichtig ist, dass die Kanäle untereinander und zum Rand des Reaktors einen Abstand von maximal 30 cm haben und dass die Luft ungehindert von unten durch die Struktur strömen kann.

* : Aufgrund ihrer Robustheit und geringen Kosten verwenden wir häufig PVC-Abflussrohre. Obwohl wir nie Probleme mit dem Material hatten, ist es wichtig zu beachten, dass diese nicht über ~60°C erhitzt werden sollten - eine Temperatur, die während der Heißphase des Bioreaktors oftmals erreicht wird. Wenn du PVC oder andere nicht hitzebeständige Kunststoffe verwendest, solltest du die Rohre daher so früh wie möglich entfernen.

4.
Das klassische Design

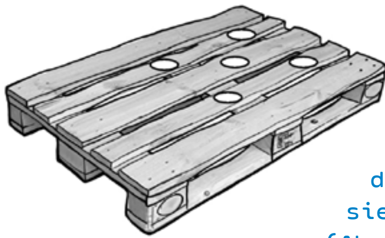
Diese Bauart wurde von Johnson und Su et al. entwickelt (siehe “Links & Literatur”) - wir haben lediglich eine Tür hinzugefügt, um die Entnahme des Materials zu erleichtern. Es ist ein Konstruktionsprinzip, das verbessert und an deine örtlichen Gegebenheiten, Material und Budget angepasst werden kann. Mögliche Quellen für Materialien sind Wertstoffhöfe, Eisenwarenläden und Landwirtschaftsgeschäfte.

Material

- Holz-Palette (Standard, idealerweise EU-Norm) 120 cm X 80 cm
- Gitter aus Bewehrungsstahl 150 cm X 300 cm
  (wird für Stahlbeton verwendet)
- Geotextil/Unkraut-Matte (gewebt, mindestens 140 g) 150 cm X 500 cm
- Rohre oder andere rohrförmige Platzhalter 5 Stück, je 150 cm (⌀ ~10 cm)
- Robuster Draht (z.B. Gartendraht)
- Stöcke/Bambus/oder ähnliches
  (zum temporären fixieren der Rohre)
- Gummiband (nur wenn du Rohre verwendest)
- Bewässerungssystem

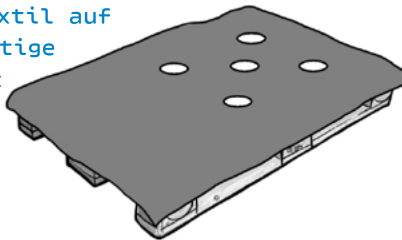
Werkzeuge

- Winkelschleifer/Bolzenschneider (zum Schneiden des Gitters)
- Zange (zum Schneiden von Draht)
- Bohrer für Holz
- Stichsäge mit Holzsägeblatt
  (zum Schneiden von Löchern in die Palette)
- Schere/Cuttermesser (zum Schneiden von Geotextil)
- Bleistift/Marker

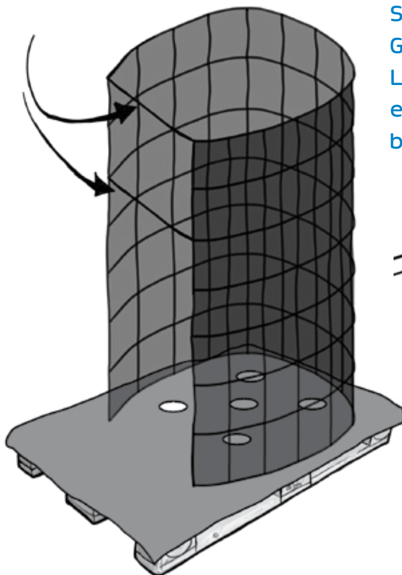


Verwende die Rohre/Stäbe als Hilfsmittel, um 5 Kreise auf die Palette zu zeichnen. Füge einige Millimeter Versatz hinzu. Bohre dann Löcher in die Markierungen und schneide sie mit einer Stichsäge aus. (Abstand der Löcher max. 30 cm).

Schneide ein Stück Geotextil auf die Größe der Palette und befestige es mit Nägeln. Schneide mit einem Cuttermesser Löcher für die Rohre.



~150 cm X 230 cm + door ~70 cm



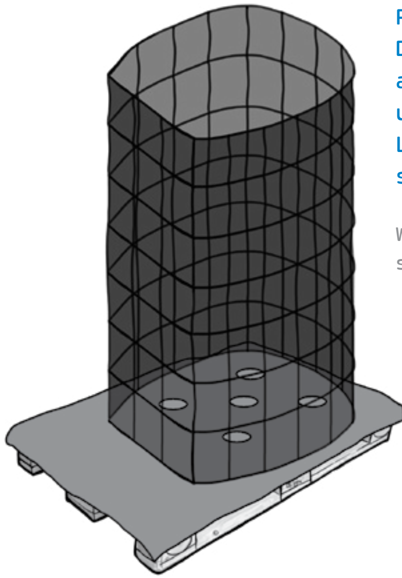
Schneide das Gitter auf die richtige Größe. (~150 cm X 230 cm + Tür ~70 cm) Lege das Geotextil darauf, schneide es passend zu (am Boden liegend) und befestige es mit Draht.



Nägel sind gut geeignet, um Löcher in das Gewebe zu stechen.

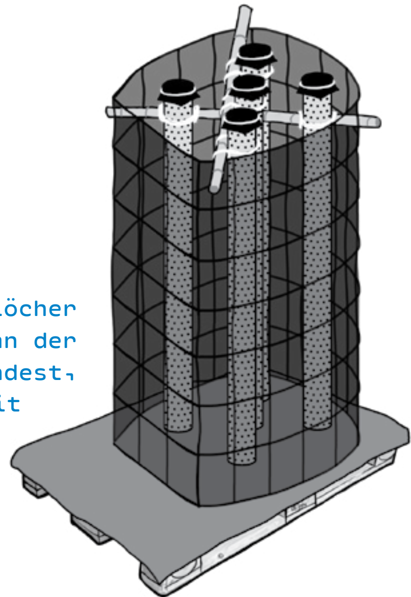
Hebe das Gitter auf die Palette und befestige es mit zwei gekreuzten Nägeln.

Bevor du die Tür anbringst, fixiere das Gitter mit zwei Drähten oder Schnüren, damit es stabil steht.

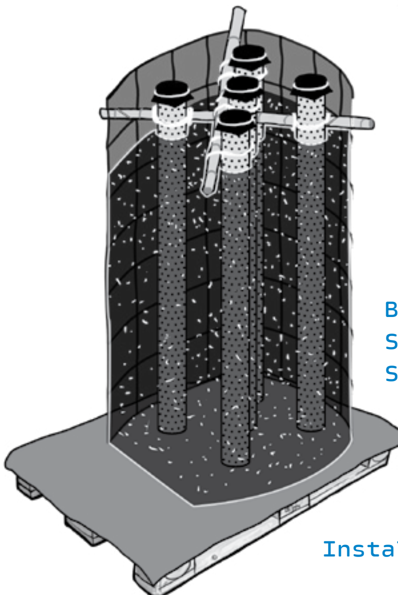


Füge die Tür hinzu. Verwende Drähte als Scharniere und auf der anderen Seite zusätzliche Drähte, um die Türe fest zu verschließen. Lass diese sichtbar, damit du sie später leicht findest.

Wiederverwendbare Kabelbinder sind auch gut geeignet.



Stelle die Rohre/Stäbe in die Löcher der Palette und befestige sie an der Oberseite. Wenn du Rohre verwendest, verschließe die obere Öffnung mit Geotextil und einem Gummiband.



Befülle den Bioreaktor mit Substrat und wässere jede Schicht gründlich.

Installiere das Bewässerungssystem.

5. IBC-Container Design

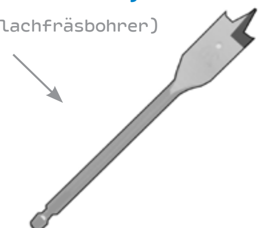
IBC-Container sind standardisiert, langlebig und leicht zu beschaffen - sie werden daher häufig für andere Zwecke wiederverwendet. Der Rahmen des Containers kann für das klassische Design anstelle des Gitters verwendet werden, aber wir möchten eine Möglichkeit vorschlagen, auch den Kunststoffcontainer selbst wiederzuverwenden. Zögere nicht, weitere Anpassungen und Verbesserungen vorzunehmen.

Material

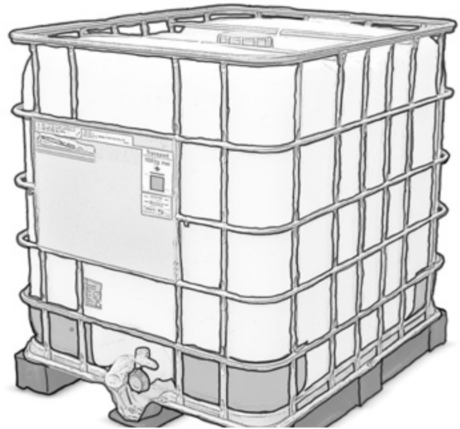
- IBC-Container (lebensmittelecht, gut ausspülen) ~1000 l; 100 X 120 X 116 cm
- Rohre oder andere rohrförmige Platzhalter 4 Stück, je 100 cm (⌀ ~10 cm)
- Draht (zur Befestigung des Bewässerungssystems)
- Stöcke/Bambus/oder ähnliches (zum temporären fixieren der Rohre)
- Gummiband (nur wenn du Rohre verwendest)
- (Ziegel)steine/Holzblöcke o.ä. 6 Stück, je ~10 cm hoch
- Bewässerungsanlage

Werkzeuge

- Schraubenschlüssel
  (um den Rahmen des IBC-Behälters abzuschrauben)
- Stichsäge, o.ä. (zum Schneiden des Kunststoffbehälters)
- Akkuschrauber oder Bohrmaschine (mit Holz- oder Flachfräsbohrer)
- Zange (zum Schneiden von Draht)
- Marker

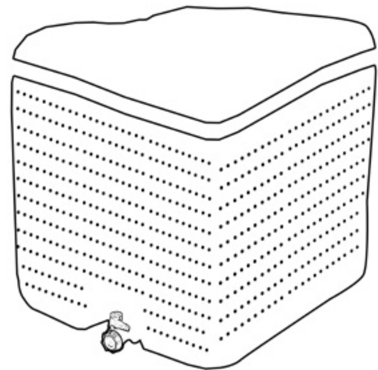


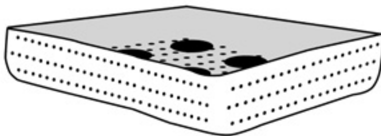
Schraube den oberen Teil des Rahmens ab und entferne den Kunststoffkanister.



Bohre von allen 4 Seiten (nicht oben/unten) 1-2 cm breite Löcher in den Kunststoffkanister, im Abstand von ca. 10 cm.

Mit einem Flachfräsbohrer-Aufsatz funktioniert das gut und es werden keine kleinen Kunststoffpartikel erzeugt.



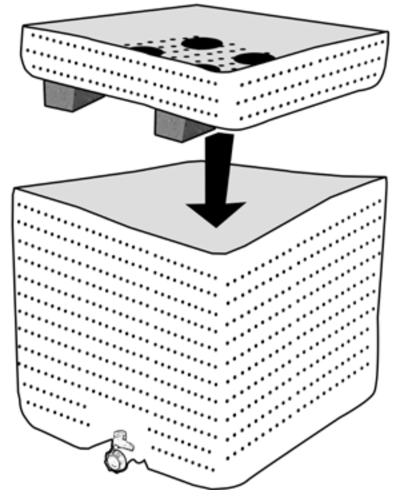


Schneide den oberen Teil des Kanisters ab und verwende die Rohre/Stäbe als Hilfsmittel, um 4 Kreise darauf zu zeichnen. Füge einige Millimeter Versatz hinzu. Bohre dann Löcher in die Markierungen und schneide sie mit einer Stichsäge aus.

Abstand der Löcher max. 30 cm

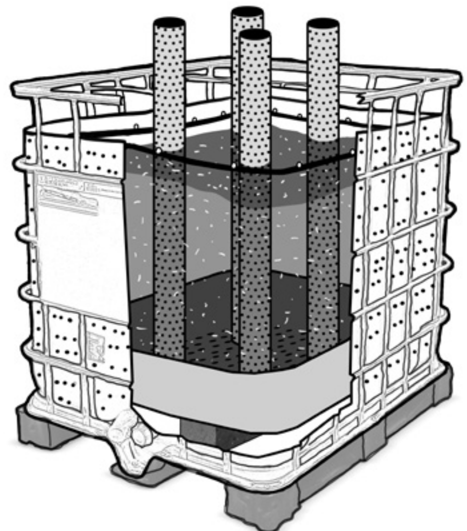
Bohre auch ein paar zusätzliche ~1-2 cm breite Löcher zwischen den großen Löchern und an den Seiten.

Setze den Hauptteil des Kanisters wieder in den IBC-Rahmen und platziere die (Ziegel)Steine auf dem Boden. Lege den Deckel umgedreht darauf, sodass zwischen Boden und Deckel ein ca. 10 cm breiter Spalt entsteht. Das ganze sollte stabil sein und die Steine dürfen die Löcher für die Rohre nicht verdecken. Prüfe auch, ob die Löcher an den Seiten des Behälters den Raum unter dem Deckel mit Luft versorgen - wenn nicht, bohre ein paar mehr.



Stelle die Rohre/Stäbe in die Löcher und befestige sie an der Oberseite. Wenn du Rohre verwendest, verschließe die obere Öffnung mit Geotextil und einem Gummiband.

Siehe klassisches Design.



Befülle den Bioreaktor mit Substrat und wässere jede Schicht gründlich.

Installiere das Bewässerungssystem.

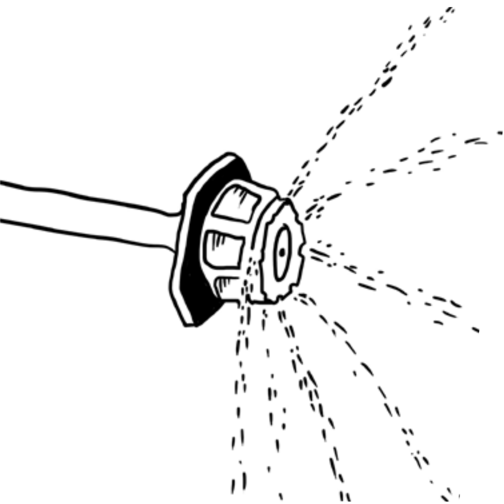
6. Befüllen des Bioreaktors

Als Nahrung für die Pilze ('Substrat') haben wir mit Laub, Holzhäcksel und anderen faserigen, holzigen Materialien gute Erfahrungen gemacht. Substrat von ähnlicher Größe und Beschaffenheit sorgt für eine homogene Reifung des Inokulats. Küchenabfälle sind zu vermeiden, Grasschnitt, Kaffeesatz und anderes stickstoffhaltiges Material sollte nur in geringen Mengen (< 15 %) zugegeben werden. Wichtig ist, dass das Substrat einen hohen Kohlenstoff-/Zellulosegehalt hat, daher kann auch Rinde, Stroh, Sägemehl, Maisstängel, Hanf, Jute, Sisal, Baumwolle, Leinen, Bambus usw. zugegeben werden. Blätter sollten nicht zerkleinert werden (sonst wird die Luftdurchlässigkeit beeinträchtigt) und bei holzigem Material sollte die Partikelgröße etwa 2-4 cm betragen. Das Substrat muss vor oder während dem Befüllen des Reaktors gut angefeuchtet werden.

Wir empfehlen den Bioreaktor im Laufe eines Tages vollständig zu befüllen, da sonst der Beginn der Wärmephase und die Stabilität der Belüftungskanäle beeinträchtigt werden könnte. Das Substrat kann entweder in ein Wasserbad getaucht oder während der Beladung mit einem Gartenschlauch gründlich (Schicht für Schicht) besprüht werden. Dabei ist unbedingt darauf zu achten, dass keine trockenen Bereiche entstehen und das Material nicht zusammengedrückt wird. Nach 1-2 Tagen werden die Stöcke/Rohre vorsichtig entfernt, um Belüftungskanäle zu schaffen.

7.
Reifung & Verwendung

Damit die Pilze ihre volle Wirkung entfalten können, ist lediglich eine Bewässerung notwendig. Da das Substrat immer feucht (aber nicht nass) bleiben sollte, empfehlen wir die Installation eines automatischen Bewässerungssystems. Kleine Sprenkler funktionieren wegen der Wasserverteilung in der Regel besser als “Micro-Dripper” (Schläuche mit winzigen Löchern). Achte darauf, dass die Wände des Bioreaktors ausreichend bewässert werden, vor allem beim “klassischen” Design, da dieses eher zum Austrocknen neigt. Bei der Verwendung von etwa 12 Mikro-Sprinklern (360° Grad, ⌀ 4,6 mm) sollte im Sommer 1 Minute Bewässerung pro Tag ausreichen. In Trockenperioden ist es sinnvoll, das Substrat regelmäßig zu kontrollieren und gegebenenfalls länger zu bewässern.



Die Reifezeit beträgt je nach Temperatur, Klima, Feuchtigkeit und Substratzusammensetzung zwischen 12 und 16 Monaten. Das fertige Inokulat sollte eine lehmartige Konsistenz mit wenigen oder keinen Resten des ursprünglichen Substrats und eine matte, dunkle Farbe haben.

Bei der Anwendung auf kleineren Flächen kann das Material auf die Bodenoberfläche gestreut werden und wird dann idealerweise mit Mulch (z. B. Stroh) abgedeckt. Für größere Flächen kann ein Dungstreuer verwendet werden, oder das Inokulat wird mit einem 'Extraktor' verflüssigt. Dabei handelt es sich im Grunde um einen großen Eimer, in den Wasser gegeben und das Gemisch sorgfältig umgerührt oder mit Luft durchströmt wird. Dadurch lösen sich die an den Bodenpartikeln haftenden Sporen und gelangen in die flüssige Phase. Nach dem Filtern kann die Flüssigkeit mit handelsüblichen Sprühgeräten verteilt werden.



Wenn du das fertige Produkt in der Hand zerdrückst, sollte es sich feucht anfühlen und einen stabilen Klumpen bilden.

Links & Literatur

Webseiten & Videos

mikroBIOMIK Projektseite (Englisch & Deutsch)
mikrobiomik.org/en/projects/fungal-bioreactors

Video zur Konstruktion des IBC-Container-Designs (Deutsch)
youtu.be/NAA7ES9uQd8

BEAM-Method by Johnson & Su et al. (Englisch)
beamcompost.com

Video zum klassischen Design (Englisch)
youtube.com/watch?v=DxUGk161Ly8

Forschung zu Bodenmikroben (Englisch)

Food and Agriculture Organization of the United Nations (2020) "State of knowledge of soil biodiversity"
fao.org/3/cb1929en/cb1929en.pdf

De Vries, et al. (2013) "Soil food web properties explain ecosystem services across European land use systems"
doi.org/10.1073/pnas.13051981

Morriën, et al. (2017)" Soil networks become more connected and take up more carbon as nature restoration progresses"
doi.org/10.1038/ncomms14349

Johnson, et al. (2015) - "Development of soil microbial communities for promoting sustainability in agriculture and a global carbon fix"
peerj.com/preprints/789v1.pdf

Danksagung

Die Experimente zu pilzbasierten Bioreaktoren wurden im Rahmen mehrerer von mikroBIOMIK (1) mit-organisierter Projekte durchgeführt, darunter die kooperativen Programme "HUMUS sapiens" (2) und "UROŠ - Ubiquitous Rural Open Science Hardware" (3) sowie mehrere Workshops, z.B. an der machBar (4) in Potsdam. Die Erstellung des Leitfadens wurde von der Zukunftsstiftung Landwirtschaft (5) finanziell unterstützt.

(1) mikrobiomik.org
(2) mikrobiomik.org/humussapiens
(3) hackteria.org/wiki/UROS
(4) machbar-potsdam.de
(5) zukunftsstiftung-landwirtschaft.de











Text

Malte Larsen
Julian Chollet

Illustrationen

Malte Larsen
Akvilė Paukštytė

Design

Akvilė Paukštytė



Erstellt 12/2023

Download
der digitalen Version
unter archive.org oder
mikroBIOMIK.org

